

A Tejútrendszer mentén

I. rész

Az elmúlt évtizedek látványos technikai fejlődése – párosulva a csillagászat sok évszázad alatt kifinomult módszertanával, felgyülemlett adattömegeivel, és a korszerű számítástechnika sokrétű eszközkészletével – szinte évente-félévente meghökkenítő új tényeket szolgáltatott tágabb hazánk, a Tejútrendszer szerkezetéről, alrendszeri saját életéről. Minthogy a Csillagászati Évkönyv korábbi kiadásában még soha nem szerepelt teljes áttekintés erről a témáról, időszerűvé vált összefoglalni a továbbra is helytálló legfontosabb megállapításokat, törvényszerűségeket és ötvözni a legújabban feltárt új ismeretekkel.

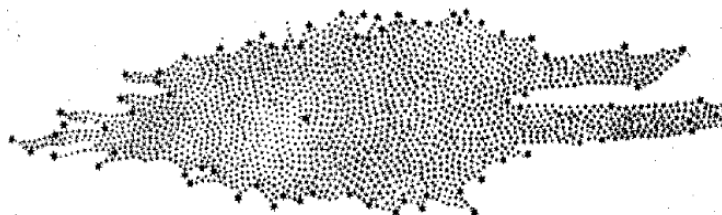
A Tejút kultúrtörténete, kutatásának mérföldkövei

A mai ember számára nehéz elképzelni, mit is láthattak távoli őseink egy-egy újhold körüli, páramentes éjszakán. Civilizációs fényszennyezés híján a ma látható csillagoknál sokszorta több tárulhatott a szemük elé, ráadásul szinte feketéllő háttér előtt, sokkal kontrasztosabban. Ilyen égi kárpiton lebilincselő látványként tárulkozott fel a Tejút kanyargó sávja. Generációk százai adták tovább szájról-szájra saját hagyományrendszerükhöz illeszkedő szebbnél szebb elnevezéseit, amivel ezt az égi csodát illették. A ma legáltalánosabban *(és a szaknyelvben is)* használt elnevezése az ókori görögöktől ered: 'galaxia' (Γαλαξίας). A monda szerint Zeusz halandó nőtől (*Alkmene*) származó gyerekeit, Herkulest a feleségével, Hérával szoptatta, hogy hallhatatlanná váljon. A legenda szerint a már csecsemőként is gigászi erővel bíró Herkules olyan erővel szopta a tejet, hogy az kifröccsent, és végigömlött az égen – ez lett a Tejút... De az örmény mitológiából eredeztethető módon Közél-keleten *(de még észak-afrikai törzsek körében is)* „a szalmatolvaj nyoma” névvel illetik: a menekülő szalmatolvaj kocsijáról lehulló és szerte szóródó szalma nyomaként. Közép-Afrikában *(busmanok)* „az éjszaka gerincé”-nek nevezik, amely egyúttal valóban tartja is az égboltot! A szanszkritok „Mennyei Gangesz”-nek, a kínai-japán kultúrában „ezüst folyó”-nak, az észak-európai népeknél „őszi faszor”-nak hívják. Nem különben csodaszép a székely-magyar elnevezés: a „Hadak Útja”, avagy „Csaba Királyfi útja” – amelyen a legendás uralkodó majd visszatér hű seregével megsegíteni sokat szenvedett népét! De ezen felül még sok más, hasonlóan szép elnevezéssel is illették elődeink a Tejutat. De hogy miből is áll, és mi ez valójában – nagyon sokáig rejtély maradt...

Az európai tudományos gondolkodás bölcsőjének tekintett ókori görögöknél Démokritosz *(kb. i.e. 500-428)* és Anaxagorász *(i.e. 450-370)* már „ködös fényű” csillagok összeolvadó fényének vélte *(mily közel jutva már akkor is a tényleges igazsághoz!)*, de pl. Arisztotelész *(i.e. 384-322)* nagyon is közelinek gondolta: a csillagokból eredő gyúlékony kipárolgásoknak a felső légköri rétegekben történő égésének... Az első tudományos igényű méréses bizonyítással Al-Haitham *(Albacén, 965-1037)* arab csillagász próbálkozott meg: a Tejút parallaxisát próbálta megmérni. Minthogy a kísérlet

negatív eredménnyel zárult, igen helyesen arra következtetett, hogy igen messze kell legyen tőlünk, a csillagok szférájában.

A soron következő lényegi előrelépés természetesen a távcső feltalálásával történhetett meg, amikor is Galileo Galilei (1564-1642) a Tejút sávjára irányított távcsövének tökéletlenségei ellenére is csillagok ezreire bontotta fel. Ezzel beigazolódtott, hogy csillagok tömegeinek összeolvadó fénye a Tejút. Immanuel Kant (1724-1807) megállapítása már a korszerű szemlélet előfutárává vált: csillagokból álló forgó testnek vélte (1755), amit saját gravitációja tart össze. De még fontosabbnak tekinthető a forradalminak mondható megállapítása: mi benne vagyunk ennek a belsejében – és az égen a rendszer „perspektivikus” képe látható. Sőt már azt a kérdést is felveti, hogy az égen látható némelyik „köd” a mi Tejútunkhoz hasonló lehet. Az izgalmas kérdésre, hogy vajon e kozmikus erdő belsejéből meg tudjuk-e határozni az erdő méretét, és alakját – a modern csillagászat atyjának is nevezett William Herschel (1738-1822) kísérelt meg választ adni. Azzal a feltételezéssel élve, hogy a csillagok első közelítésben azonos fényességűek, és térbeli sűrűségük mindenhol azonos, a különböző égi irányokban, adott térszögben látszó csillagok száma az abba az irányba eső kiterjedéssel arányos – meghatározta a Tejútrendszer alakját. Ez az 1. ábrán látható, sokat idézett híres kép. Ezzel mintegy a későbbi „stellárstatisztika” tudományágát is megalapozta, amely – persze lényegesen finomodva, az azóta felhalmozódott ismeretekkel kibővítve – továbbra is hasznos fegyvertára az észlelőcsillagászatnak. Bizonyos anyagformák tanulmányozásának szinte egyetlen módszere még ma is – erről alább még szólunk!



1. ábra

*Herschel rajza a Tejútrendszeréről (saját csillagszámlálásai alapján).
A Nap a szabálytalan alakzat közepétől kissé balra látható fekete pont.*

A Herschel által eredményül kapott kép, bár még messze áll a maitól, de jelentős előrelépésnek tekinthető, különösen fontos észrevennünk, hogy a Napunk helye – nagyon helyesen – már nála sem a középpontban lévőnek adódott. Ezt az eredményét 1785-ben tette közzé, majd a kérdéssel tovább nem foglalkozott. Bár módszere igen kitűnő, jól megalapozott volt, de két feltételezés nem teljesülése (a csillagok nem azonos fényességűek, és térbeli sűrűségük nem azonos a Tejútrendszer minden tartományában), valamint az akkor még nem ismert csillagközi fényelnyelődés (l. lentebb) hatása jelentősen torzította a végeredményt.

Ne feledkezzünk meg az időközben rohamléptekkel fejlődő, növekvő méretű távcsövekről (Herschel 1,2 m-es tükrös távcsöve, majd William Parsons (1800-1867) 1,8 m-es Leviathan-ja). Az ezekkel sorra felfedezett, gyakran örvényszerű alakot mutató ködösségek tekintetében (maga Parsons 194-et fedezett fel) kétféle vélekedés terjedt el: egyesek tőlünk távoli, a mi Tejútrendszerünkhöz hasonló csillag-szigeteknek

tekintették – mások a Tejútrendszerben épp kialakulóban lévő, születő csillagok/naprendszerek körüli gázörvényeknek (pl. maga Laplace is ez utóbbi véleményen volt). Az előbbi elvet követők úgy gondolták: minthogy számtalan, kisebb távcsővel ködösnek mutatkozó objektum az akkori óriástávcsövekkel csillagok ezreire bomlott fel, kellő méretű távcsövet építve minden ködösség igazi szerkezete feltárulhat, és mindről bebizonyosodik majd, hogy csillagokból áll – ergo távoli csillagváros. Az utóbbiak abból táplálkoztak, hogy némelyik spirális ködösségben időlegesen felvillanni láttak egy-egy csillagot, amit a gázanyag örvényén keresztül láthatóvá vált születő csillagnak gondoltak (ma már tudjuk, ezek szupernóvák voltak). E ponton pedig arra kell emlékeznünk, hogy ekkortájt (19. sz. eleje) még semminemű távolságmérési eljárás nem állt a csillagászok rendelkezésére, amivel ilyen távoli égi objektumok távolsága és méretei felbecsülhetőek lettek volna.

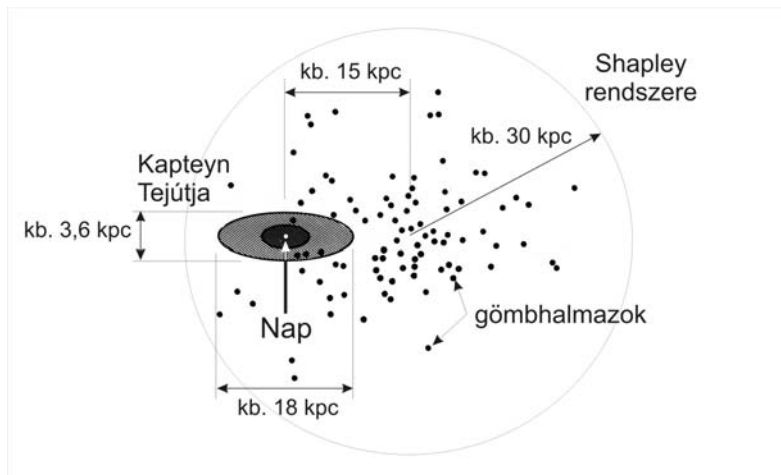
Minderre még jónéhány évtizedet kellett várni, mikoris a Harvard Observatórium fotolemezeinek 1893-1906 között, Pickering vezetésével folyó szisztematikus átvizsgálása során Miss Henrietta Leavitt (1868-1921) felfedezte a változó fényű csillagok egyik jellegzetes csoportjának különös viselkedését. A csillagok ezen csoportjának (ma Cepheidák gyűjtőnéven illetjük őket) fényváltozási periódusa és fényessége között közel egyenes arányosságot mutatott ki, amely igen jól működő, általános szabályszerűségnek mutatkozott. Arra, hogy ez a felfedezés a csillagközi távolságok új mérési módszerét is jelenti egyúttal – egy másik híres csillagász, a dán Ejnar Hertzsprung (1873-1967) mutatott rá. 1913-ra elvégezte a módszer kalibrálását – és bár egy egyszerű elírási hiba miatt egy nagyságrenddel kisebb távolságot kapott az Androméda galaxis (M31) távolságára (nagyjából 250.000 fényévet) – mégis, minthogy ez is nagyon nagy érték volt¹, tulajdonképpen megkezdődhetett „kozmosz látóhatárunk kitágulása”.

Részben a kezdeti távolságmérések durva hibáinak köszönhetően, még keményen tartotta magát a spirális és ovális ködösségek és a Tejútrendszer viszonyának a tisztázatlansága: még 100 év elteltével sem volt világos, hogy vajon a spirális ködösségek a mi Tejútrendszerünk részét képezik-e? Bár ez a vélekedés ekkor már azt is magában kellett hordozza, hogy Tejútrendszerünk hatalmas – mi több, magát az egész megfigyelhető világunkat jelenti. Az ekkoriban már számos ismert gömbhalmazt és spirális ködöt is ennek részeként aposztrofálták. Ezt a nézetet vallotta pl. Harlow Shapley (1885-1972) is. Diplomája megszerzése után a gömbhalmazok távolságának meghatározásával foglalkozott, szintén a Cepheidák periódus-fényesség relációja alapján². Méréseiből arra következtetett, hogy azok nem illeszkednek az akkor legelfogadottabb Kapteyn-féle Tejútrendszer modellbe: annál sokkal nagyobb méretű, gömbszerű térrészt töltenek ki, amelyben Napunk a középponttól jelentős mértékben eltolva található.

Tekintve, hogy az Androméda-köd távolságát ekkor még a mai értéktől jelentősen kisebb értékűnek ismerték, amely összemérhető volt a gömbhalmazok által kijelölt rendszer méreteivel, Shapley úgy gondolta, hogy a „Tejútrendszer”-ként ismert formáció maga az egész Világegyetem – és a spirális ködök is beletartoznak (így az Androméda galaxis is).

¹ Herschel 1785-ben még csak a Sirius távolságának kb. 2.000-szeresére tette az Androméda-köd távolságát (ez a Sirius mai távolság-adata ismeretében= 17.000 fényév).

² Shapley az elsők között volt, aki a korábbi elmélettel szemben a Cepheidákat nem spektroszkópiai kettős-csillagoknak tekintette, hanem a méretüket változtató (pulzáló) változócsillagoknak.



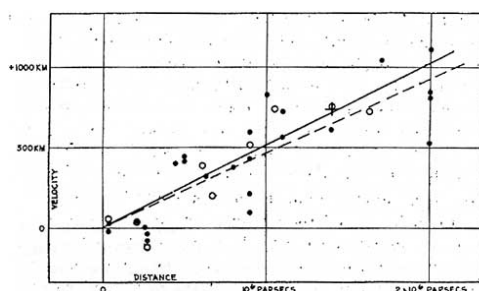
2. ábra

Kapteyn és Shapley Tejútrendszerének összehasonlítása

A konkurrens elmélet szerint azonban a Tejútrendszerünk lényegesen kisebb, nem azonos az egész világmindenséggel, és a spirálködök a Tejútrendszertől lényegesen távolabbi csillag-szigetek. Ezt vallotta Heber Curtis (1872-1942) is. Az Androméda galaxisban hosszabb időszak alatt megfigyelt nővák számának és átlagfényességének a Tejútrendszer-beliékel történő összehasonlításából ezen túlmenően még azt a megállapítást is tette, hogy a különféle galaxisok saját csillag-keletkezési ütemmel, saját fejlődési történettel rendelkező objektumok, amely akár jelentősen is eltérhet a mi Tejútunkétól. A két nézet e két nagyszerű csillagász történelmi vitájában, a „Nagy Vítá”-ban (‘grand debate’) 1920. ápr. 26-án a Smithsonian Természettudományi Múzeum „Baird” termében, kellően ünnepélyes előkészítéssel, nagy sajtónyilvánosság mellett zajlott le³. Noha látszólag Curtis győelmét hozta, a csillagászat későbbi ismeretei tükrében sok szempontból Shapley érvei és gondolkodásmódja sokkal következetesebbek, és a valósághoz közelebb állók voltak (pl. Curtis a Tejútrendszert sokkal kisebbnek gondolta, és nála is a középpontban helyezkedett el a Nap). Shapley legnagyobb „hibája” az volt, hogy egy hozzá közel álló kolléga (A. van Maanen) sajnálatosan hibás méréseit feltétel nélkül (a bizalom jegyében) elfogadta, és jelentősen támaszkodott is rá – miszerint egyes spirális ködök viszonylag rövid időn belüli szögelfordulásából a valóságosnál jóval közelebbi távolságok jöttek ki rájuk... A híres vita emlékére az utóbbi években a lelkes utódok hívtak életre hasonlóan nagyívű, megosztott vélekedéssel övezett fontos kérdésekben vitákat, amit mindig április 26-án kell megtartani, hasonló körülmények között, ugyanazon a helyszínen.

³ Vitájuk egyúttal két nagy obszervatórium rivalizálásának is színtere volt (Shapley a Mt. Wilson Obszervatóriumban dolgozott, ahol a kor legnagyobb tükrös távcsöve üzemelt, az 1,5 m-es Hale távcső – Curtis pedig a Lick Obszervatóriumban, amely pedig a kor második legnagyobb, 91 cm-es lencsés távcsövével fürkészte az Univerzumot). Shapley a vita után le is mondott obszervatóriuma igazgatói posztjáról.

Tulajdonképpen a „Nagy Vita” után már csak pár évet kellett várnia a világnak, és egy új, minden korábnál hatalmasabb méretű távcső alkalmazásával végérvényesen eldőlt minden: a 2,5 méteres Wilson-hegyi „Hooker” óriástávcsővel egy már gyerekkorában is zseniként kezelt csillagász, Edwin Hubble (1889-1953) Cepheida változócsillagokat tudott azonosítani számtalan spirális köd peremvidékén. Ezek fénygörbéjének kimérésével, a már korábban említett periódus-fényesség reláció alkalmazásával viszonylag pontos távolságmeghatározást tudott elvégezni. Az ugyanezen ködökről egy másik kollégája (M. L. Humason) által párhuzamosan készített színekfelvételek távolsággal történő összevetésével azt a meglepő felfedezést tették, hogy minél távolabbi egy spirálköd, annál nagyobb sebességgel távolodik tőlünk! Ehhez persze a spirálködök jellegzetes színekvonalai eltolódásának a Doppler-jelenség szerinti értelmezését kellett elfogadni.



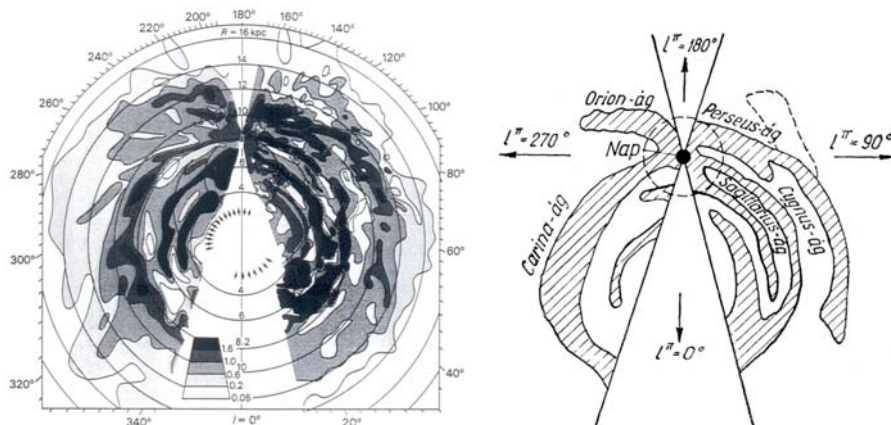
3. ábra

A híres távolságtörvényt ábrázoló grafikon, Hubble és Humason eredeti cikkéből (1929)

A megdöbbentő felfedezés időbeli visszapörgetése azt a következtetést valószínűsítette, hogy valamikor ezek a csillagrendszerek *(innenről már joggal nevezhetjük őket „Tejútrendszeren túli”-nak, azaz „extragalaxis”-oknak)*. Mindezzel egy új tudományág is megszületett: a kozmológia, a Világmindenség legnagyobb léptékű szerkezetének és időbeli fejlődésének kutatása. „Melléktermékként” pedig egy minden korábnál nagyobb távolságtartományokon működő távolságmérési módszer is a kezünkbe került. Nem alaptalanul hiszik sokan, hogyha Hubble hirtelen halála nem jön közbe, az első csillagász Nobel-díjas lehetett volna!

Bár látszólag messzire eveztünk témánktól, mégis, az extragalaxisokról alkotott képünk nagyon is szervesen összefügg Tejútrendszerünkről alkotott képünkkel is – csakúgy, mint a többi csillag szerkezetére és fejlődésére vonatkozó ismereteink saját Napunkéval.

Az utolsó lényegi lépést *(korábban még csak nem is sejthető módon)* egy újonnan megjelent, egészen újszerű technikával sikerült megtenni: Frank J. Kerr (1918-2000) és Gart Westerhout (1927-...) a Tejútrendszer hidrogén-felhőinek a 21 cm-es vonalon történő feltérképezésével *(a leideni és sydneyi rádiótávcsövekkel, egy ötletes módszer alkalmazásával)* feltárta a felhők spirális elrendeződését, ezzel pontot téve a sokezer éves kérdés végére: bebizonyosodott, hogy a Tejútrendszer valójában az égen látható spirálgalaxisok ikertestvére!



4. ábra

Kerr és Westerhout eredeti hidrogén-térképe, és annak átrajzolt, értelmezett változata

Irodalomjegyzék:

- Ábrahám P. és Kiss Cs.: Magyar Tudomány 2009/10 , 1156-1167. old.
 van den Bergh, S., 2006: AJ Vol. 131, 1559-1564.
 Belkurov, V. és mások, 2006: ApJ Vol. 637, L29-L32.
 Casandjian, J. M. és Grenier, I., 2009: Fermi Symposium, Washington, D.C., Nov. 2-5., eConf C091122, pp.1-3.
 Chandrasekhar, S.: Ellipsoidal Figures of Equilibrium (Yale Univ. Press, 1967)
 Érdi B.: Égi Mechanika (Tankönyvkiadó, Bp, 1989)
 Frisch, P., 2000: Am.Sci. Vol. 88, 52- (online URL: ld. lentebb)
 Gillmon, K. és Shull, J. M., 2005: arXiv:astro-ph/0507587v1
 Hubble, E. and M. Humason: Publications of the National Academy of Sciences *vol. 15 (1929): 168-173*
 Kalirai, J. S. és mások, 2007: ApJ Vol. 657, L93-L96.
 Kun M. és Szabados L.: Magyar Tudomány 2004/6 , 722-731. old.
 Kühn, L.: The Milky Way (John Wiley & sons, 1982)
 Lubow, S. H. és Ogilvie, G. I., 1998: ApJ Vol. 504, 983-995.
 Marik M.: Csillagászat (Akadémiai Kiadó, Bp, 1989)
 Moraux, E., Bouvier, J. és Clarke, C., 2005: AN Vol. 326, 985-990.
 Ninkovic, S., 2005: Mem. SAI Vol. 7, 72-77.
 de Rijcke, S., Buyle, P. és Dejonghe, H., 2006: MNRAS Vol. 368, L43-L46.
 Shiga, D., 2006: Science, Vol. 314, 106
 Spurzem, R. és mások, 2005: MNRAS Vol. 364, 948-960.
 Weinberg, M. D. és Blitz, L., 2006: ApJ Vol. 641, L33-L36.
 Wolleben, M., 2007: ApJ Vol. 664, 349-356.
 Yoon, S.-J. és Lee, Y.-W., 2002: Science Vol. 297, 578-581.
<http://www.americanscientist.org/template/AssetDetail/assetid/21173>
<http://astro.u-szeged.hu> , <http://chandra.harvard.edu/photo>, <http://en.wikipedia.org>
<http://icsip.elte.hu> , <http://hirek.csillagaszat.hu>

Hegedüs Tibor